

## BAB III

### DESAIN PARAMETER PROSES

#### 3.1. Parameter dan bahan.

Pada tugas akhir ini, desain dan proses pembuatan transistor bipolar npn menggunakan bahan silikon epitaksi  $n^+$  yang telah tersedia di LEN. Rangkaian desain parameter proses ini digunakan untuk transistor dengan :

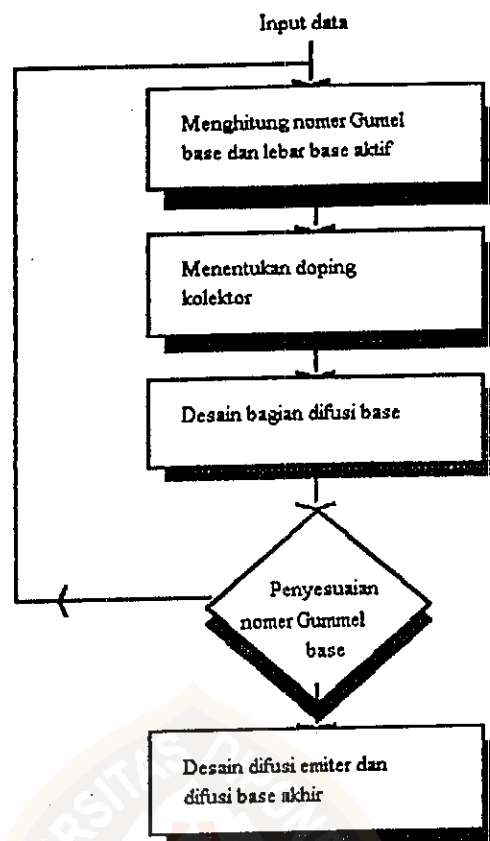
Penguatan arus emiter dibumikan,  $\beta = 80$

Frekuensi angular alpha,  $\omega_{\alpha b} = 2\pi \times 160 \times 10^6 \text{ rad s}^{-1}$

Frekuensi penguatan,  $f_T = 110 \text{ Mhz}$

Figure of merit,  $GE = 7,91 \times 10^{13} \text{ cm}^{-4}\text{s}$

Prosedur dalam mencari perhitungan parameter proses digambarkan secara diagram alur pada gambar 3.1. Pertama adalah menghitung nomer gumel base GB dan lebar base aktif  $X_B$ , langkah selanjutnya menentukan besar ketidakmurnian dari lapisan epitaksi yang merupakan daerah kolektor, selanjutnya desain bagian difusi base, dan penyesuaian  $Q_{Bo}/q$  merupakan langkah pilihan dimana  $Q_{Bo}/q$  yang disesuaikan pada langkah ini mendekati pada perhitungan sebelumnya maka langkah desain difusi emiter dan difusi base akhir dapat dilaksanakan.



Gambar 3.1 Diagram alur untuk desain proses transistor bipolar (1).

Spesifikasi-spesifikasi bahan yang digunakan dalam pembuatan transistor bipolar npn adalah sebagai berikut :

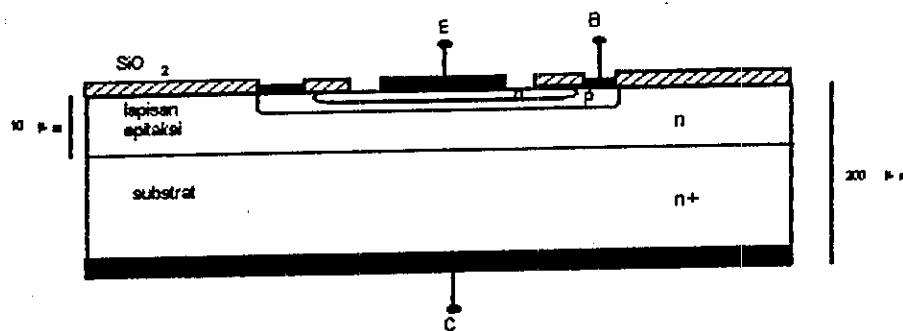
Tebal lapisan epitaksi ( $t_{\text{epi}}$ ) = 10  $\mu\text{m}$

Resistivitas lapisan epitaksi ( $\rho_{\text{epi}}$ ) = 4  $\Omega\text{cm}$

Resistivitas substrat ( $\rho_{\text{substrat}}$ ) = 0,015  $\Omega\text{cm}$

Tebal wafer/semikonduktor ( $t_{\text{wafer}}$ ) = 200  $\mu\text{m}$

Orientasi wafer =  $\langle 111 \rangle$



Gambar 3.2 Tampang melintang dari transistor bipolar npn

Proses yang digunakan dalam pembuatannya adalah proses DDE (Dobel Difusi Epitaksi), dimana Emiter dan Base didifusi dengan tungku difusi pada daerah epitaksi dan untuk daerah kolektor merupakan bagian lapisan epitaksi di bawah base (gambar 3.2)

### 3.2. Menghitung nomer gummel base dan lebar base aktif.

Efisiensi emiter  $\gamma$  merupakan perbandingan elektron emiter yang memasuki base dari daerah muatan ruang sambungan emiter-base dengan arus emiter total.

$$\gamma = \frac{I_{diff,B}}{I_{diff,B} + I_{diff,E} + I_{rek}}$$

$$\gamma = \frac{1}{1 + G_B / G_E} \dots \dots \dots (3.1)$$

Figure of merit ( $G_E$ ) merupakan perkalian antara  $\beta$  dengan nomer gummel  $G_B$ <sup>(6)</sup>. Sehingga

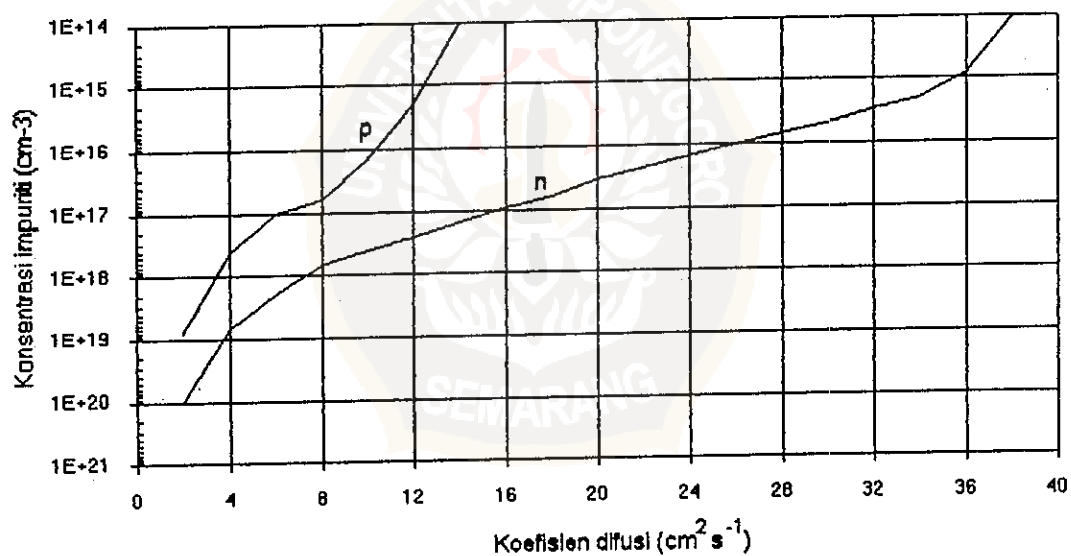
$$G_E = \beta \times G_B \dots \dots \dots (3.2)$$

$$G_B = G_E / \beta$$

$$G_B = \frac{7,91 \times 10^{13} \text{ cm}^{-4} \text{ s}}{80}$$

$$G_B = 9,89 \times 10^{11} \text{ cm}^{-4} \text{ s}$$

Nomer gummel  $G_B$  merupakan besaran yang menunjukkan keefektifan daerah base terhadap konsentrasi dan lebar aktif base. Besarnya konsentrasi doping base pada transistor adalah  $10^{17} \text{ cm}^{-3}$  <sup>(1)</sup>, dari gambar 3.3 yang merupakan data antara mobilitas pembawa dan koefisien difusi sebagai fungsi dari konsentrasi ketidakmurnian total didapat koefisien rata-rata difusi pembawa minoritas dalam base,  $D_{nB}$  adalah  $15 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ .



Gambar 3.3 Mobilitas pembawa dan koefisien difusi sebagai fungsi total dari konsentrasi doping pada  $300^0 \text{ K}$  <sup>(1)</sup>

Nomer Gummel ( $G_B$ ) dapat pula diperoleh dari mengintegral konsentrasi doping base  $N_{AB}$  dan membaginya dengan koefisien difusi rata-rata base  $D_{nB}$ .

$$G_B = \frac{1}{D_{nB}} \int N_{AB(x)} dx = \frac{Q_{Bo}}{q D_{nB}} \dots\dots\dots (3.3)$$

dimana  $Q_{Bo}$  = muatan dalam base

$$\frac{Q_{Bo}}{q} = G_B \cdot D_{nB}$$

$$= 9,89 \times 10^{11} \text{ cm}^{-4} \text{ s} \cdot 15 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$$

$$= 1,48 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$$

dan lebar base aktif dapat dicari dengan,

$$X_B = \pi \left( \frac{\bar{D}_{nB}}{2\omega_{cb}} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (3.4)$$

$$= 3,14 \left( \frac{15}{2 \times 2\pi \times 160 \times 10^6} \right)^{1/2}$$

$$= 2,8 \times 10^{-4} \text{ cm}$$

Untuk menentukan harga konsentrasi elektron pada daerah kolektor dapat dicari dengan bantuan grafik 1 pada lampiran 1, yaitu untuk  $\rho_{\text{epi}} = 4 \text{ } \Omega\text{cm}$  konsentrasinya  $1,3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ .

### 3.3. Desain bagian difusi base.

Untuk menentukan konsentrasi permukaan dari difusi base NOB dapat ditentukan dengan menggunakan grafik 2 pada lampiran 1, untuk sambungan base-kolektor  $X_{jc} = 4,7 \mu\text{m}$ ,  $R_{SB} = 96 \Omega$ , dan konsentrasi latar NB = konsentrasi kolektor  $N_{dc} = 1,3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ , maka  $N_{OB} = 4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ . Penentuan  $X_{jc}$  dilakukan dengan cara *try and error* karena untuk langkah berikutnya  $X_{jc}$  diteliti kembali. Selanjutnya dihitung bagian difusi base yaitu koefisien difusi untuk drive-in base  $D_{2B}$  dikalikan dengan waktu drive-in  $t_{2B}$  dengan rumus sebagai berikut.

$$N(X_j, t) = N_{OB} \exp\left(\frac{-X_{jc}^2}{4D_{2B}t_{2B}}\right) = N_{dc}$$

$$4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \exp\left(\frac{-(4,7 \times 10^{-4})^2}{4D_{2B}t_{2B}}\right) = 1,3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$$

$$\ln \exp\left(\frac{-(4,7 \times 10^{-4})^2}{4D_{2B}t_{2B}}\right) = \ln \frac{1,3 \times 10^{15}}{4 \times 10^{18}}$$

$$\frac{-2,1 \times 10^{-7}}{4D_{2B}t_{2B}} = \ln 0,000325$$

$$D_{2B}t_{2B} = \frac{-2,1 \times 10^{-7}}{4 \ln 0,000325}$$

$$D_{2B}t_{2B} = 6,6 \times 10^{-9} \text{ cm}^2$$

### 3.4. Penyesuaian nomer gummel base.

Pada bagian ini adalah pengujian dari  $X_{jc}$  pada bagian 3.3 yaitu untuk  $X_{jc} = 4,7 \mu\text{m}$ . Bila  $Q_{Bo/q}$  terlalu besar dibandingkan dengan  $Q_{bo/q}$  yang dihasilkan pada bagian 3.2, maka harga  $\beta$  lebih kecil dari yang didesain sehingga  $X_{jc}$  perlu ditambah. Bila  $Q_{Bo/q}$  terlalu kecil dibandingkan dengan  $Q_{bo/q}$  pada bagian 3.2, maka harga  $\beta$  lebih besar dari yang didesain sehingga  $X_{jc}$  perlu dikurangi (bagian 3.2 perlu diulang). Sebelum melakukan penyesuaian nomer gummel kita tentukan lokasi dari  $X_{EB}$  dan  $X_{CB}$ , sebagai batas dari base aktif. Kurva dari Lawrence and Warner diterapkan dalam hal ini (Gambar 3.5). Lebar daerah muatan ruang total base-kolektor ditentukan dari gambar 3.5.a dengan  $V = 0.7$  Volt. Gambar 3.5.b merupakan perbandingan  $X_1/X_T$  dan  $X_2/X_T$ , dimana  $X_1$  menunjukkan sisi yang di doping tinggi dan  $X_2$  menunjukkan sisi yang di doping rendah. Untuk  $N_{dc} = 1,3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  maka  $V/NB = 0,7/1,3 \times 10^{15} \text{ V/cm}^{-3} = 5 \times 10^{15} \text{ V/cm}^{-3}$ . Didapat harga  $X_T$  adalah  $1 \mu\text{m}$ .

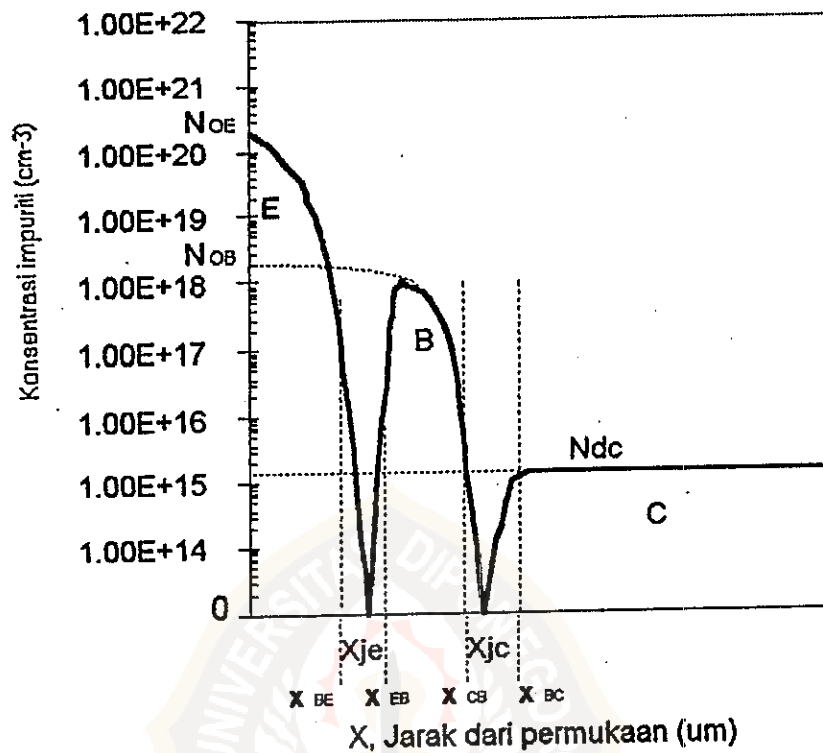
$$\begin{aligned} X_T &= 1 \quad X_1/X_T = 0,38 \text{ dan } X_2/X_T = 0,62 \\ X_1/X_T &= 0,38 & X_2/X_T &= 0,62 \\ X_1 &= 1,0,38 & X_2 &= 0,62 \cdot 1 \\ &= 0,38 \mu\text{m} & &= 0,62 \mu\text{m} \end{aligned}$$

jika

$$X_{jc} = 4,7 \mu\text{m}, \text{ maka } X_{CB} = X_{jc} - X_1$$

$$\begin{aligned} X_{CB} &= 4,7 \mu\text{m} - 0,38 \mu\text{m} \\ &= 4,32 \mu\text{m} \end{aligned}$$

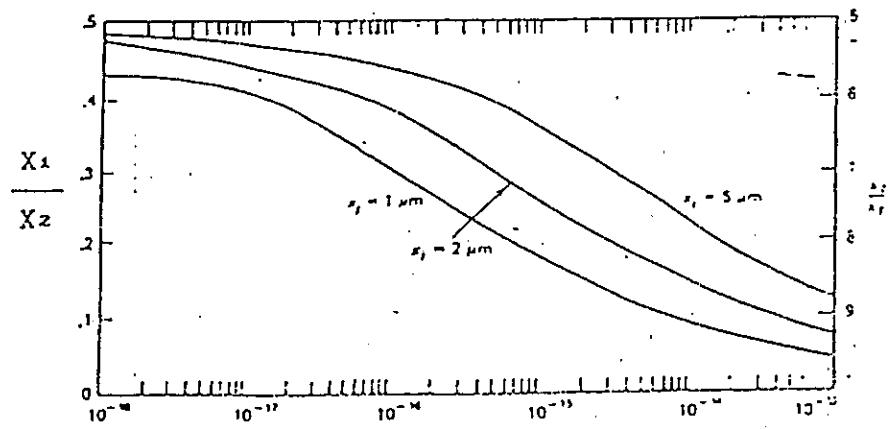
$$\begin{aligned} X_{EB} &= X_{CB} - X_B \\ &= 4,32 \mu\text{m} - 2,8 \mu\text{m} \\ &= 1,52 \mu\text{m} \end{aligned}$$



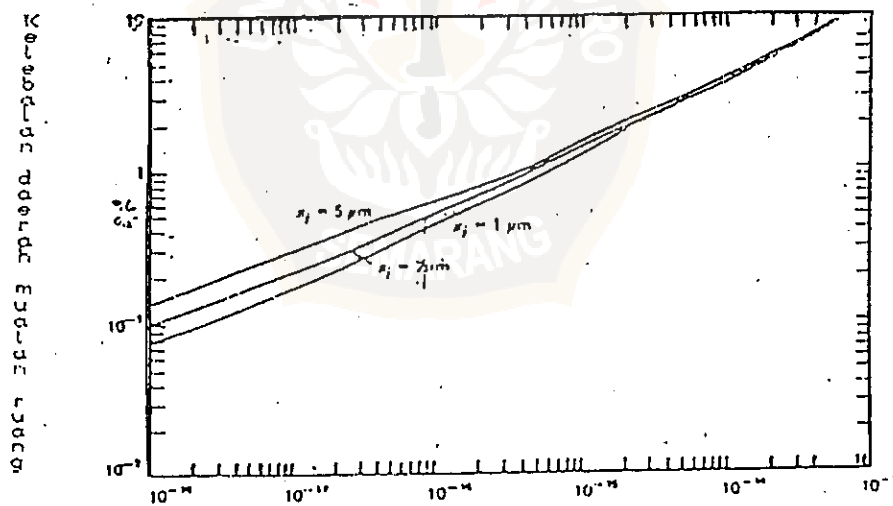
Gambar 3.4 Gambaran profil doping transistor <sup>(1)</sup>

Gambar 3.4 menunjukkan profil doping dari transistor,  $X_{EB}$  dan  $X_{CB}$  masing-masing menunjukkan jarak dari permukaan sampai pada daerah muatan ruang emiter-base dan daerah muatan ruang kolektor-base.  $X_{CB} - X_{EB}$  merupakan lebar base aktif atau  $X_B$  dan  $X_{JC} - X_{JE}$  lebar base metalurgik.





$V/Nb$ , Tegangan terhadap konsentrasi kolektor ( $V/cm^{-3}$ )



$V/Nb$ , Tegangan terhadap konsentrasi kolektor ( $V/cm^{-3}$ )

Gambar 3.5 Ketebalan daerah muatan ruang sebagai fungsi dari tegangan untuk bentuk sambungan pn oleh difusi Gaussian (a) Total lebar lapisan deplesi (b) Perbandingan  $X_1/X_T$  dan  $X_2/X_T$  (14)

Perhitungan muatan dalam base per muatan elektron  $Q_{Bo}/q$  adalah :

$$Q_{Bo}/q = \int_{x_{EB}}^{x_{CB}} N_{AB}(x) dx$$

$$Q_{Bo}/q = \int_{x_{EB}}^{x_{CB}} \left[ N_{OB} \exp\left(\frac{-X_{jc}^2}{4Dt}\right) - N_{dc} \right] dx \dots \dots \dots (3.5)$$

Karena harga  $X_{jc}$  pada perhitungan sebelumnya ditetapkan, maka pada bagian ini perhitungan dibantu dengan bantuan kurva luasan normal<sup>(10)</sup>.

$$Q_{Bo}/q = 2(\pi Dt)^{1/2} N_{OB} \left[ \int_0^{t_2} \left(\frac{1}{2p}\right)^{1/2} \exp\left(\frac{-y^2}{2}\right) dy - \int_0^{t_1} \left(\frac{1}{2p}\right)^{1/2} \exp\left(\frac{-y^2}{2}\right) dy \right] \\ - \int_{x_{EB}}^{x_{CB}} N_{dc} dx \dots \dots \dots (3.6)$$

dimana

$$t_1 = \frac{X_{EB}^2}{(2Dt)^{1/2}} \text{ dan } t_2 = \frac{X_{CB}^2}{(2Dt)^{1/2}}$$

$X_{EB}$  dan  $X_{CB}$  masing-masing merupakan jarak dari permukaan ke sisi daerah muatan ruang emiter-base dan kolektor-base yang terlihat dalam gambar 3.4. Dari persamaan (3.15) luas antara  $X_{EB}$  dan  $X_{CB}$  pada gambar 3.4 didapat dengan pendekatan sebagai berikut :

$$\text{Luas} = \int_0^{t_2} \left(\frac{1}{2\pi}\right)^{1/2} \exp\left(\frac{-y^2}{2}\right) dy \\ - \int_0^{t_1} \left(\frac{1}{2\pi}\right)^{1/2} \exp\left(\frac{-y^2}{2}\right) dy$$

atau

$$\text{Luas} = \frac{\exp\left(\frac{-y_2^2}{2}\right)}{-y_2\sqrt{2\pi}} - \frac{\exp\left(\frac{-y_1^2}{2}\right)}{-y_1\sqrt{2\pi}} \dots\dots\dots (3.7)$$

$$= \text{Area } (t_2) - \text{Area } (t_1)$$

$$= -9,9 \times 10^{-2} - (-0,011)$$

$$= 0,011$$

sehingga

$$Q_{B0}/q = 2(\pi \cdot 6,6 \times 10^{-9})^{1/2} \cdot 4 \times 10^{18} (0,011)$$

$$= 1,3 \times 10^{15} \cdot (4,32 - 1,52) \times 10^4$$

$$= 2 (6,3 \times 10^{12}) - 3,64 \times 10^{11}$$

$$= 1,23 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$$

Nilai ini mendekati nilai yang diinginkan pada perhitungan awal untuk  $Q_{B0}/q$  yaitu  $1,48 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ , sehingga  $X_{jc}$  tetap.

$$X_{jc} = 4,7 \text{ } \mu\text{m}$$

$$NOB = 4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$$

$$D_2Bt_2B = 6,6 \times 10^{-9} \text{ cm}^2$$

$$Q_{B0}/q = 1,48 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$$

### 3.5. Desain difusi emiter dan difusi base akhir.

Tahap ini adalah mendefinisikan difusi emiter dan difusi base. Telah diketahui nilai-nilai yang telah ada :

Sambungan kolektor-base,  $X_{jc} = 4,7 \mu\text{m}$

Daerah muatan ruang kolektor-base,  $X_{jc} - X_{CB} = 0,38 \mu\text{m}$

Lebar base,  $X_B = 2,8 \mu\text{m}$

Daerah muatan ruang emiter-base,  $X_{EB} - X_{jE} = 0,1 \mu\text{m}$

Dan sambungan emiter-base,  $X_{jE} = (4,7 - 0,38 - 2,8 - 0,1) \mu\text{m} = 1,42 \mu\text{m}$

Besar konsentrasi ketidakmurnian emiter dengan konsentrasi base pada sambungan emiter-base adalah sama maka,

$$N_{dE}(X_{jE}) = N_{dB}(X_{jE}) - N_{dC}(X_{jE})$$

$$N_{dE} = N_{0B} \exp\left(\frac{-X_{jE}^2}{4D_{2B}t_{2B}}\right) - N_{dC}$$

$$= 4 \times 10^{18} \exp\left(\frac{-(1,42 \times 10^{-4})^2}{4(6,6 \times 10^{-9})}\right) - 1,3 \times 10^{15}$$

$$= 1,86 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$$

Dari persamaan kuantitas dimana  $\alpha$ ,  $D_1$ ,  $D_2$ , dan  $N_2(x_0)$  bergantung pada temperatur yaitu :

$$R = R_0 \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right) \dots\dots\dots (3.8)$$

dimana  $E_a$  = Energi aktivasi

$R_0$  = Konstanta yang ditentukan pada tabel 1 (lampiran 2)

$$D_2 = 2,49 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} \exp \left( \frac{-2,0}{8,617 \times 10^{-5} (950 + 273,1)} \right)$$

$$= 1,429 \times 10^{-13} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$$

dan

$$\alpha = 1,1 \times 10^{-8}$$

$$N_2(x_0) = 7,57 \times 10^{21}$$

erfc  $z_1$  didapat dengan mensubstitusikan nilai-nilai di atas

$$\text{erfc } z_1 = \frac{2 N(X_{JE}, t)}{N_2(x_0)} \exp \left[ \left( \frac{\alpha}{2 D_2} \right) \left( \frac{3 X_{JE}}{4} \right) \right] \dots \dots \dots (3.9)$$

$$\text{erfc } z_1 = \frac{2(1,86 \times 10^{18})}{7,57 \times 10^{21}} \exp \left[ \left( \frac{1,1 \times 10^{-8}}{2(1,42 \times 10^{-13})} \right) \left( \frac{3(1,4 \times 10^{-4})}{4} \right) \right]$$

$$= 0,03$$

dengan menggunakan grafik 4 pada lampiran 1 didapat  $z_1 = 1,5$

Untuk waktu difusi emiter adalah <sup>(1)</sup> :

$$t_E = \left( \frac{3\alpha X_{JE} + 2 D_2 z_1^2}{9\alpha^2} \right) + \left[ \left( \frac{3\alpha X_{JE} + 2 D_2 z_1^2}{9\alpha^2} \right)^2 - \frac{X_{JE}^2}{9\alpha^2} \right]^{1/2} \dots (3.10)$$

$$t_E = \frac{3.1,1 \times 10^{-8} \cdot 1,42 \times 10^{-4} + 2.1,43 \times 10^{-13} (1,5)^2}{9(1,1 \times 10^{-8})^2}$$

$$+ \left\{ \left( \frac{3.1,1 \times 10^{-8} \cdot 1,4 \times 10^{-4} + 2.1,43 \times 10^{-13} (1,5)^2}{9(1,1 \times 10^{-8})^2} \right)^2 \right.$$

$$\left. - \frac{(1,4 \times 10^{-4})^2}{9(1,1 \times 10^{-8})^2} \right\}^{1/2}$$

$$= 6577 \text{ detik}$$

$$= 110 \text{ menit}$$

Dari Gambar 5 pada lampiran 1 koefisien difusi boron pada suhu  $1000^{\circ}\text{C}$  adalah  $2,0 \times 10^{-14} \text{ cm}^2/\text{s}$  dan koefisien difusi boron pada suhu  $1100^{\circ}\text{C} = 5,98 \times 10^{-14} \text{ cm}^2/\text{s}$ .

$$D_t = D_{2812B} - D_{1000} t_e \dots\dots\dots (3.11)$$

$$= 6,6 \times 10^{-9} - 2,0 \times 10^{-14} (110.60)$$

$$= 6,47 \times 10^{-9} \text{ cm}^2$$

dengan  $D = 5,98 \times 10^{-13} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  pada suhu  $1100^{\circ}\text{C}$  maka

$$t_{1000} = \frac{6,47 \times 10^{-9}}{5,98 \times 10^{-13}}$$

$$= 10819 \text{ detik}$$

$$= 180 \text{ menit}$$

Predeposisi boron untuk difusi base memperhitungkan kelarutan padat (solid solubility) difusi. Koefisien difusi efektif dalam hal ini dapat dipakai sebagai pendekatan yang mungkin.

$$D_{\text{eff}} = \left( \frac{1,225}{z} \right)^2 \left( \frac{N_{01}}{n_i} \right) D_i \dots\dots\dots (3.12)$$

Dimana

$$D_i = D_i^0 + D_i^+$$

$$D_i = D_0 \exp \left( -\frac{E_a}{kT} \right) \text{ dari tabel 1}$$

$$D_i^0 = 1,3 \times 10^{-15} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$$

$$D_i^+ = 2,52 \times 10^{-15} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$$

$$D_i = 3,87 \times 10^{-15} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$$

Dimana  $D_{eff}$  = koefisien difusi efektif

$D_i$  = koefisien difusi intrisik

$D_i^0$  = koefisien difusi intrisik untuk muatan netral

$D_i^+$  = koefisien difusi intrisik untuk muatan positif

Kelarutan padat untuk Boron suhu  $900^\circ\text{C}$  dari gambar 7 pada lampiran 1 No1  
 $= 1.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$

$$\begin{aligned} N_d/N_{o1} &= 1,3 \times 10^{15} : 1 \times 10^{20} \\ &= 0,00001 \end{aligned}$$

dari gambar 4 lampiran 1 didapat  $z = 3,15$

$n_i = 3,8 \times 10^{18}$  pada suhu  $900^\circ\text{C}$ , dari grafik 5 pada lampiran.

$$\begin{aligned} D_{eff} &= \left( \frac{1,225}{z} \right)^2 \left( \frac{N_{o1}}{n_i} \right) D_i \\ &= \left( \frac{1,225}{3,15} \right)^2 \left( \frac{1 \times 10^{20}}{3,8 \times 10^{18}} \right) 3,87 \times 10^{-15} \\ &= 1,54 \times 10^{-14} \text{ cm}^2\text{s}^{-1} \end{aligned}$$

### Waktu predeposisi

$$N_{OB} = \left( \frac{2 N_{O1}}{\pi} \right) \left( \frac{D_{1B} t_{1B}}{D_{2B} t_{2B}} \right)^{1/2}$$

$$\left( \frac{N_{OB}}{2 N_{O1}} \right)^2 = \left( \frac{D_{1B} t_{1B}}{D_{2B} t_{2B}} \right)$$

$$\left( \frac{\pi \cdot 4 \times 10^{18}}{2(1 \times 10^{20})} \right)^2 = \left( \frac{D_{1B} t_{1B}}{6,6 \times 10^{-9}} \right)$$

$$t_{1B} = 1660 \text{ detik}$$

$$t_{1B} = 28 \text{ menit}$$

Tabel 2. Standart proses transistor bipolar npn

Nilai yang diinginkan	$\beta = 80$	$\omega \alpha = 2\pi \times 160 \times 10^6 \text{ rad s}^{-1}$	
Dimensi	$X_{JC} = 4,70 \mu\text{m}$	$X_{epi} = 10 \mu\text{m}$	
	$X_{JE} = 1,42 \mu\text{m}$	$X_B = 2,8 \mu\text{m}$	
	$RSB = 96/\square$		
Proses difusi	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	t (menit)	NO ( $\text{cm}^{-3}$ )
Base			
Predeposisi	1000	28	
Drive-in	1100	180	$4,0 \times 10^{18}$
Emitter	1000	110	$2 \times 10^{20}$



### 3.6. Perhitungan luas emiter

Profil doping transistor bipolar berpengaruh besar pada perkiraan penguatan arus emiter dibumikan  $\beta$ , tegangan breakdown pada junction  $BV_{CEO}$ , dan respon frekuensi  $f_T$ . Geometri permukaan merupakan faktor yang mempengaruhi rating arus dan respon frekuensi. Frekuensi angular alpha merupakan total waktu delay elektron dari emiter sampai kolektor. Dari persamaan (2.32) :

$$\frac{1}{\omega_{ab}} = \frac{1}{\omega_e} + \frac{1}{\omega_b} + \frac{1}{\omega_d} + \frac{1}{\omega_c} \dots \dots \dots (3.13)$$

Didapat persamaan :

$$\frac{1}{\omega_{ab}} = r_e C_{Te} + \frac{X_B^2}{2,43D_{nB}} + \frac{X_m}{2V_{sc}} + r_{sc}C_{TC} \dots \dots \dots (3.14)$$

Dan dari persamaan (2.33) di dapat :

$$\frac{1}{f_T} = \frac{2\pi}{\alpha_o K_\theta} \left( r_e C_{Te} + \frac{X_B^2}{2,43D_{nB} \ln(N_{sB}/N_{dC})} + \frac{X_m}{2V_{sc}} + r_{sc}C_{TC} \right) \dots \dots \dots (3.15)$$

$$\frac{2\pi}{\alpha_o K_\theta} r_e C_{Te} = \frac{1}{f_T} \left( \frac{2\pi}{\alpha_o K_\theta} \right) \left( \frac{X_B^2}{2,43D_{nB} \ln(N_{sB}/N_{dC})} + \frac{X_m}{2V_{sc}} + r_{sc}C_{TC} \right)$$

$$C_{Te} = \frac{\alpha_o K_\theta}{f_T r_e 2\pi} \left( \frac{2\pi}{\alpha_o K_\theta} \right) \left( \frac{X_B^2}{2,43D_{nB} \ln(N_{sB}/N_{dC})} + \frac{X_m}{2V_{sc}} + r_{sc}C_{TC} \right) \frac{1}{r_e 2\pi}$$

dengan

$$C_{Te} = A_e \sqrt{\frac{q \times \epsilon_o N_{sB}}{V_T}} ; A_e = \text{Luas emiter}$$

$$A_e = \frac{\alpha_o K_\theta}{Z f_T r_e 2\pi} \left( \frac{2\pi}{\alpha_o K_\theta} \right) \left( \frac{X_B^2}{2,43 D_{nB} \ln(N_{aB}/N_{dC})} + \frac{X_m}{2 v_{sc}} + I_{sc} C_{TC} \right) \frac{1}{r_e 2\pi Z} \quad (3.16)$$

dengan

$$Z = \sqrt{\frac{q \times \epsilon_o N_{aB}}{V_T}}$$

dimana

$$V_T = \frac{kT}{q} \ln \left[ \frac{N_{aB}(X_{je}) \cdot N_{dE}}{n_i^2} \right]$$

$$= 0,026 \ln \left[ \frac{2,3 \times 10^{18} \cdot 9 \times 10^{20}}{(1,5 \times 10^{10})^2} \right]$$

$$= 1,14 \text{ Volt}$$

$$Z = \sqrt{\frac{(1,6 \times 10^{-19})(12)(8,85 \times 10^{-14})(1,5 \times 10^{18})}{1,14}}$$

$$= 4,7 \times 10^{-7}$$

$$\alpha = 0,98$$

$$K_\theta = \text{faktor fase lebih} = 0,7 \text{ (2)}$$

$$r_e = \text{resistansi emiter} = 5,2 \text{ ohm}$$

$$x_m = \text{lebar daerah muatan ruang} = 4,5 \times 10^{-4} \text{ cm}$$

$$I_{sc} C_{TC} = \rho_c W_c \sqrt{\frac{q \times \epsilon_o N_{aB}}{V_T}}$$

dengan

$\rho_c$  = resistivitas daerah kolektor = 4  $\Omega\text{cm}$

$W_c$  = jarak antara t epi sampai  $X_{jc}$  = 10  $\mu\text{m}$  - 4,7  $\mu\text{m}$  = 5,3  $\mu\text{m}$

$$\begin{aligned} r_{sc} C_{TC} &= \rho_c W_c \sqrt{\frac{q x_{se} N_{as}}{V_T}} \\ &= 0,6.5,3 \times 10^{-4} \sqrt{\frac{(1,6 \times 10^{-19})(12)(8,85 \times 10^{-14})(1,3 \times 10^{15})}{0,78}} \\ &= 2,67 \times 10^{-11} \end{aligned}$$

sehingga

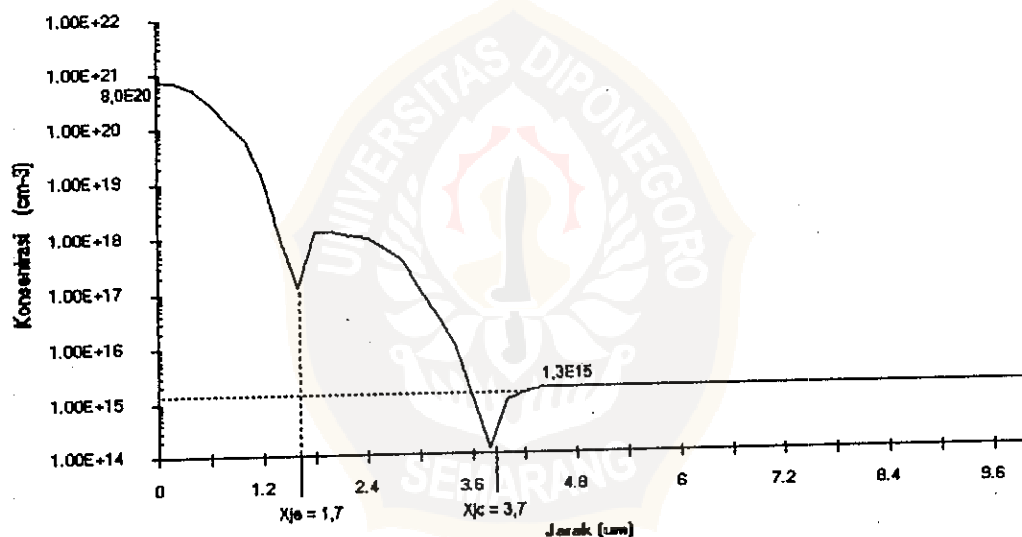
$$\begin{aligned} A_e &= \frac{\alpha_o K_\theta}{Z f_T \Gamma_e 2\pi} \left( \frac{2\pi}{\alpha_o K_\theta} \right) \left( \frac{X_B^2}{2,43 D_{nB} \ln(N_{as} / N_{dC})} + \frac{X_m}{2 v_{sc}} + r_{sc} C_{TC} \right) \frac{1}{\Gamma_e 2\pi Z} \\ A_e &= \frac{0,98 \cdot 0,7}{4,7 \times 10^{-7} \cdot 5,2 \cdot 2\pi \cdot 110 \times 10^6} \left( \frac{(2,8 \times 10^{-4})^2}{2,43 \cdot 15 \ln 1,86 \times 10^{18} / 10^{10}} + \frac{4,5 \times 10^{-4}}{2(8,5 \times 10^6)} + 2,67 \times 10^{-11} \right) \\ &\quad \frac{1}{2,6(4,7 \times 10^{-7}) 2\pi} \end{aligned}$$

$$A_e = 3,8013 \times 10^{-4} \text{ cm}^2.$$

Dengan geometri emiter berbentuk lingkaran dengan diameter , 220  $\mu\text{m}$ , maka luas emiter mendekati 38013  $\mu\text{m}^2$

### 3.7. Hasil simulasi dengan menggunakan Suprem II.

Parameter proses yang di dapat pada tabel 3.1 disimulasikan dengan menggunakan SUPREM II. Hasil simulasi tersebut yaitu profil doping transistor diperlihatkan pada gambar 3.6. Dari gambar tersebut terlihat besar konsentrasi permukaan emiter NOE adalah  $8,0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ , dengan kedalaman sambungan emiter-base  $1,7 \mu\text{m}$ . Kedalaman sambungan base-kolektor  $3,7 \mu\text{m}$  dan untuk konsentrasi permukaan base tidak diperoleh datanya. Untuk bagian kolektor besar konsentrasinya adalah  $1,3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ .



Gb.3.6 Profil doping hasil simulasi dengan menggunakan SUPREM II